

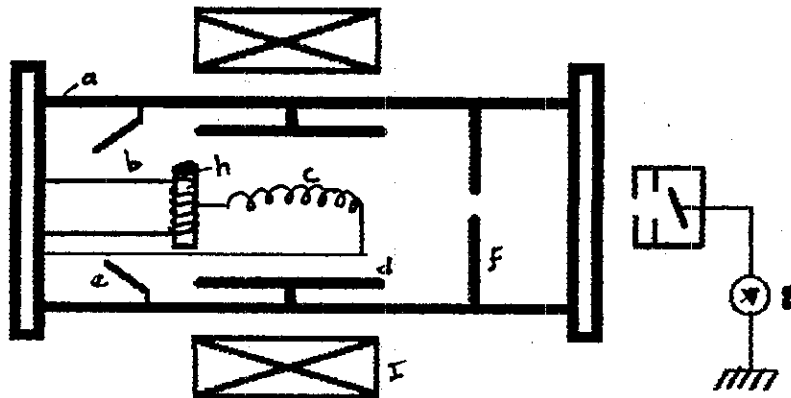
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Desain Peralatan

Pada prinsipnya sumber ion tipe katoda panas untuk cuplikan padat adalah sumber ion tumbukan elektron. Untuk menghasilkan ion di dalam ruang ionisasi diperlukan cuplikan padat berupa serbuk logam yang ditempatkan dalam tabung pemanas yang dibuat dari molybdenum (Mo), dan pemanas diberi sumber daya sehingga menimbulkan panas yang tinggi dan mengakibatkan cuplikan menguap. Ionisasi dilakukan oleh elektron pengion yang dipancarkan oleh filamen atas atom-atom bahan yang diuapkan pemanas. Dengan memberikan tegangan pada anoda dan katoda, elektron akan mendapat tenaga sehingga mampu mengionisasi atom atau molekul uap bahan. Akibat terjadi ionisasi di dalam ruang ionisasi, partikel-partikel yang berada dalam ruang ionisasi akan bercampur antara partikel netral, elektron bebas dan ion. Untuk memperbesar arus ion keluaran ditempuh dengan cara pemasangan medan magnet, karena elektron pengion yang menuju ke anoda lintasannya akan diperpanjang yang memungkinkan kebolehdjian tumbukan antara atom atau molekul bahan dengan elektron semakin besar. Selanjutnya ion-ion yang dihasilkan oleh proses ionisasi akan didorong keluar dari ruang ionisasi oleh suatu elektroda pendorong yang diberi potensial positif. Berkas ion selanjutnya akan dipercepat keluar dari sistem sumber ion dengan memberikan sumber daya tegangan pendorong-celah yang berfungsi sebagai

pemercepat, selanjutnya akan ditangkap oleh sasaran yang berupa mangkuk Faraday dan diukur besar arus ion keluaran. Gambar ( 3.1 ) adalah desain peralatan sumber ion.



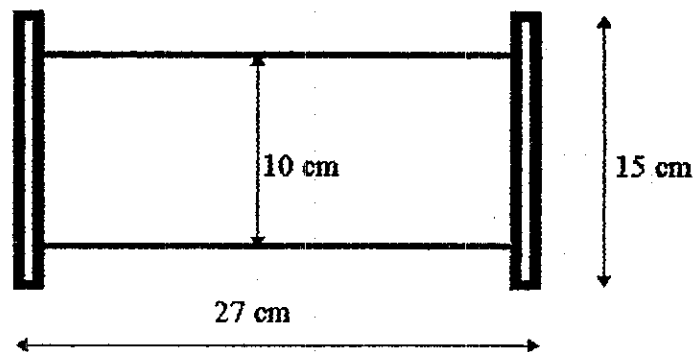
Gambar (3.1) Desain peralatan untuk sumber ion

a. Tabung hampa, b. Pemanas, c. Filamen, d. Anoda, e. Pendorong, f. Celah sumber ion, g. Pengukur arus, h. Tabung tempat cuplikan, I = magnet.

#### a. Tabung Hampa

Tabung hampa mempunyai fungsi sebagai tempat sumber ion. Kriteria untuk suatu tabung hampa adalah mampu menyediakan lingkungan dengan kehampaan yang tinggi ( lebih dari  $10^{-7}$  Torr ), tahan terhadap korosi, tahan terhadap suhu yang tinggi, dan mempunyai daya pelepasan gas ( *outgassing* ) kecil agar diperoleh tingkat kehampaan yang tinggi. Bahan yang digunakan adalah baja tahan karat, SS tipe AISI 304 EN58E dengan komposisi : Fe / Cr 18 / Ni 10 atau tipe AISI 316-EN582 dengan komposisi : Fe / Cr 18 / Mo 3. Karena tahan terhadap korosi, dan daya pelepasan gasnya kecil yaitu sekitar  $10^{-12}$  -  $10^{-13}$  Torr l/ dt . cm<sup>2</sup> [ *Rol P.K., 1977* ].

Ukuran tabung hampa menggunakan standar DN 100 CF, suatu ukuran yang sering dipakai pada akselerator dengan diameter 10 cm dan panjang 27 cm.

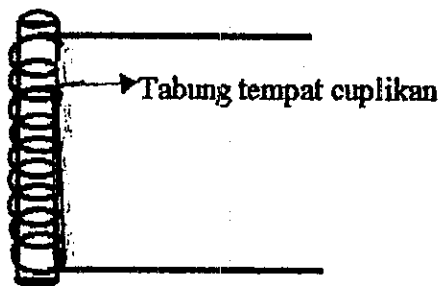


Gambar (3.2) Tabung Hampa DN 100 CF

#### b. Pemanas

Pemanas berfungsi untuk memanaskan cuplikan sampai menjadi uap. Kriteria untuk suatu pemanas adalah logam karena mempunyai titik didih yang cukup tinggi agar dapat dioperasikan pada suatu suhu tinggi dan tahan terhadap korosi. Maka dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah tungsten (W), karena suhu operasi yang tinggi dan titik didihnya  $2977^{\circ}\text{C}$ . Karena terbatasnya ruang ionisasi dengan panjang pemanas 32 cm, maka pada penelitian ini pemanas dibuat dengan melilitkan kawat berbentuk spiral dengan 17 lilitan dengan diameter tungsten 0,05 cm. Pemanas ditempatkan di tengah bagian depan lubang elektroda pendorong dan dililitkan pada tabung tempat cuplikan supaya dapat menguapkan sampel didalam tabung. Kriteria tabung adalah tahan terhadap suhu tinggi, secara mekanis dan daya pelepasan gasnya

kecil. Bahan tabung tempat cuplikan dari Molybdenum (Mo) dengan diameter dalam 0,3 cm, panjang tabung 1,4 cm dan volumenya 0,77 cm<sup>3</sup>.



Gambar ( 3.3 ) Pemanas

#### c. Filamen

Filamen berfungsi untuk menghasilkan elektron-elektron bebas dengan proses emisi. Kriteria untuk suatu filamen adalah berupa logam, mempunyai titik didih yang tinggi, fungsi kerja bahan ( $\psi$ ) rendah sehingga elektron mudah diemisikan dari permukaan logam, tahan terhadap korosi, dan mudah pengerjaannya. Sehingga pada penelitian ini, bahan yang digunakan adalah tungsten (W). Dengan pertimbangan bahwa tungsten merupakan logam murni dengan fungsi kerja bahan 4,5 volt, titik didihnya 2977°C dan mudah pengerjaannya. Filamen berupa kawat dengan diameter penampang  $2,5 \times 10^{-2}$  cm dan panjang 23 cm maka diperoleh luas permukaan filamen sebesar :

$$A = 2 \pi R L \quad (3 - 1)$$

dengan R = jari-jari penampang kawat 0,125 mm, maka luas permukaan filamen :

$$A = 2 \times 3,14 \times 0,125 \times 230 \text{ mm}^2$$

$$A = 180 \text{ mm}^2$$

$$A = 0,18 \text{ cm}^2$$

Dengan luas permukaan sebesar  $0,18 \text{ cm}^2$  pada suhu  $2500^\circ\text{K}$  diharapkan menghasilkan arus emisi sebesar :

$$I = J_e \cdot A$$

sedang rapat arus elektron ( $J_e$ ) adalah :

$$J_e = A_0 T^2 e^{-\psi/kT} \quad (3-2)$$

$$J_e = 0,27 \text{ Amper / cm}^2$$

dengan :

$$A_0 = \text{tetapan karakteristik bahan; } 70 \text{ A / cm}^2 \cdot \text{K}^2$$

$$T = \text{temperatur; } 2500 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\psi = \text{fungsi kerja bahan; } 4,5 \text{ eV}$$

$$k = \text{tetapan Boltzman; } 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV / K}$$

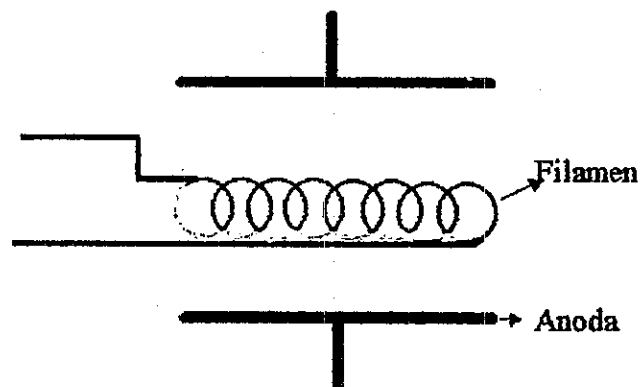
Sehingga arus emisi elektron yang diharapkan sebesar :

$$I = J_e \cdot A$$

$$I = 0,27 \times 0,18 \text{ Ampere}$$

$$I = 50 \mu\text{A}$$

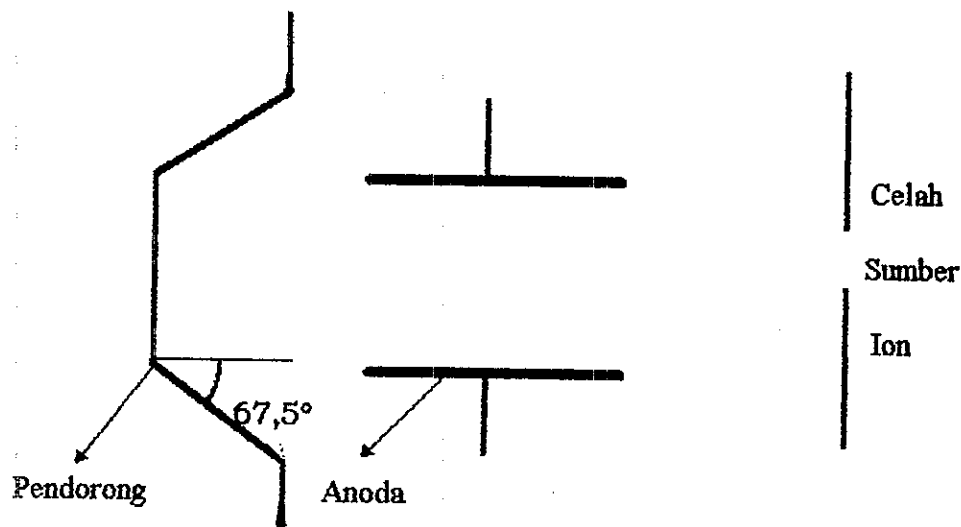
Dalam hal ini filamen dibuat berbentuk spiral dengan 17 lilitan dan diameter lilitan  $0,3 \text{ cm}$ . Filamen ditempatkan sejajar dengan anoda agar elektron yang diemisikan dari filamen dapat ditarik seluruhnya ke anoda.



Gambar ( 3.4 ) Posisi Filamen

#### d. Anoda

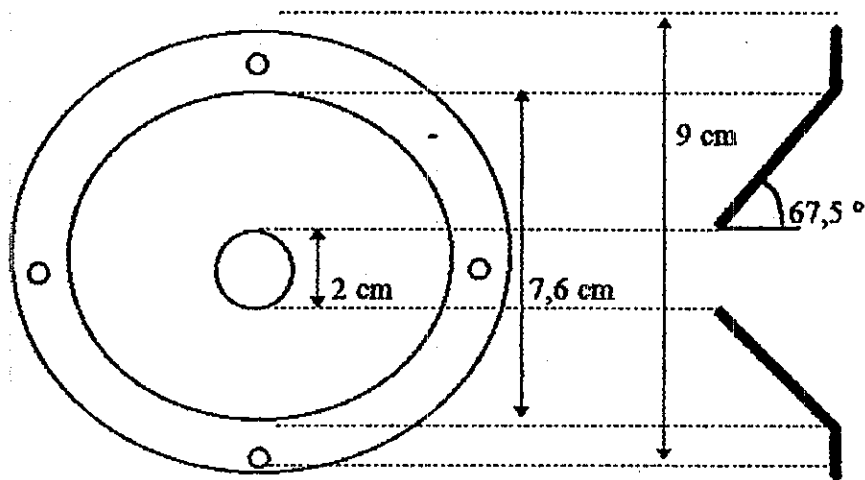
Anoda berfungsi untuk menarik elektron-elektron yang dihasilkan oleh elektroda filamen. Kriteria untuk suatu anoda adalah tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap korosi, mempunyai permukaan yang relatif luas, dan dapat mengurangi panas yang ditimbulkan oleh tumbukan elektron, agar tidak terbentuk oksida di permukaan anoda yang dapat mengakibatkan penurunan medan listrik antara filamen dan anoda. Bahan berupa kasa dari baja tahan karat berbentuk silinder dan mempunyai permukaan yang luas yaitu  $74 \text{ cm}^2$ . Kasa berfungsi untuk mengurangi panas karena tumbukan dengan elektron. Dalam penelitian ini anoda berbentuk silinder dengan diameter  $4,7 \text{ cm}$ , panjang  $5 \text{ cm}$  supaya elektron yang diemisikan filamen dapat ditarik seluruhnya oleh anoda dan menyesuaikan dengan ukuran tabung hampa yang berdiameter  $10 \text{ cm}$ , dan volume ionisasinya ( $V_g = \pi R^2 l$ ).



Gambar ( 3.5 ) Posisi anoda dalam sumber ion

#### e. Elektroda pendorong

Elektroda pendorong berfungsi untuk mendorong berkas arus ion hasil ionisasi supaya keluar dari ruang ionisasi. Kriteria pendorong adalah tahan terhadap suhu yang tinggi hingga 2997 °C. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat karena tahan terhadap panas yang tinggi. Bentuk elektroda pendorong adalah kerucut terpancung dengan kemiringan 67,5° [ *Dearmaley dkk., 1973* ]. Ukuran diameter luar adalah 7,6 cm, diameter lubang tengah 2 cm dan tebal 0,2 cm, disesuaikan dengan diameter tabung hampa.



(a) Tampak Depan

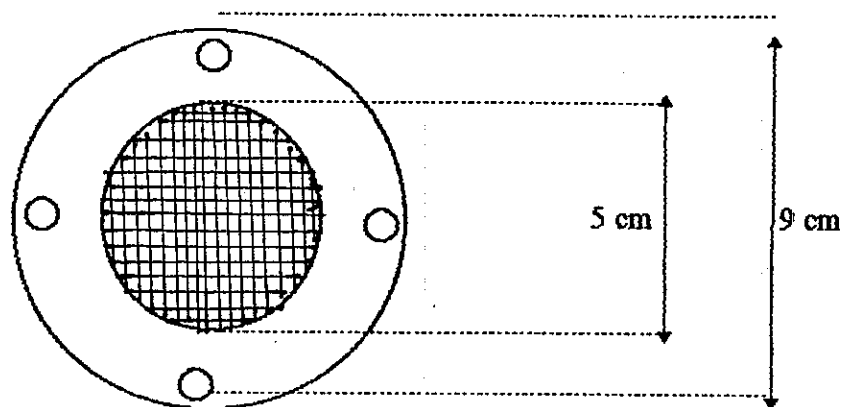
(b) Tampak Samping

Gambar ( 3.6 ) Elektroda Pendorong

#### f. Celah sumber ion

Celah sumber ion berfungsi untuk mempercepat berkas arus ion agar dapat keluar dari sistem sumber ion. Kriteria untuk celah sumber ion adalah tahan terhadap suhu tinggi. Celah dibuat dari baja tahan karat dan berbentuk lempeng melingkar dengan diameter luar 9 cm, diameter lubang tengah 5 cm yang diberi kasa tahan karat dengan diameter lubang kasa 0,2 cm supaya berkas ion tidak menempel pada dinding celah dan ketebalan dari lempeng 0,1 cm. Celah ditempatkan 11,1 cm di depan elektroda pendorong.

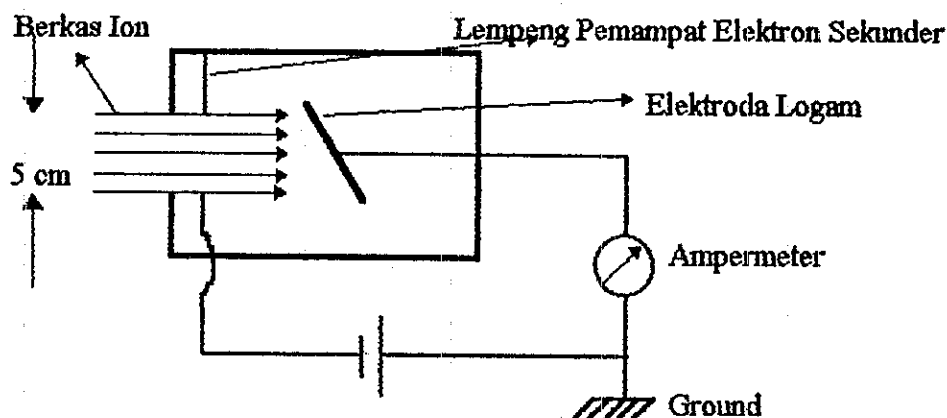




Gambar ( 3.7 ) Celah Sumber Ion

#### g. Pengukur arus

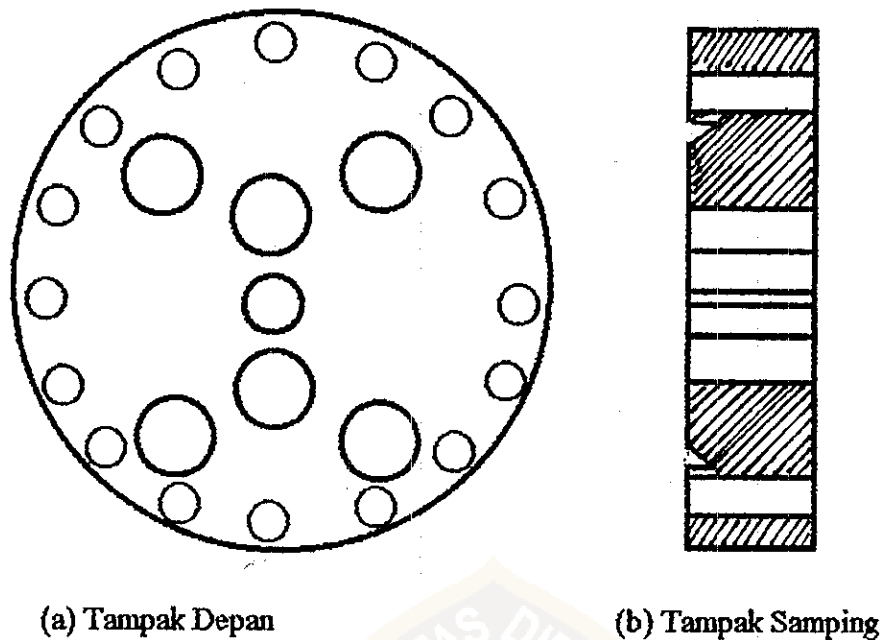
Pengukur arus berfungsi untuk mengukur arus ion keluaran hasil ionisasi yaitu dengan memakai mangkuk Faraday. Kriteria pengukur arus adalah mampu mengukur arus yang kontinyu sehingga memakai pengukur arus yang berupa mangkuk Faraday yang dilengkapi dengan dua buah celah yang diberi potensial negatif dan potensial positif, dalam hal ini untuk menekan emisi elektron dan ion sekunder yang disebabkan karena tumbukan elektron dengan permukaan logam. Mangkuk Faraday ditempatkan 2,4 cm di depan celah agar seluruh arus ion yang dihasilkan dapat ditangkap dan sekaligus menyesuaikan ukuran dari panjang tabung hampa.



Gambar ( 3.8 ) Mangkuk Faraday

#### h. Flange

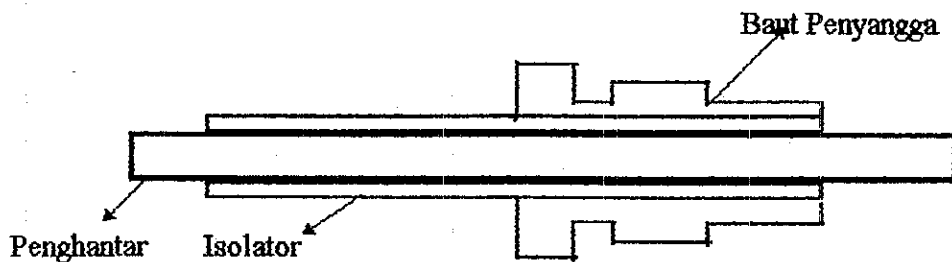
Flange berfungsi sebagai tempat dudukan elektroda-elektroda dan feedthrough. Kriteria suatu flange adalah bahan yang tahan terhadap korosi, daya pelepasan gasnya kecil dan tahan terhadap suhu tinggi. Sehingga bahan yang digunakan adalah baja tahan karat dan mempunyai daya terobos gas yang kecil ( $10^{-12}$  -  $10^{-13}$  Torr liter / detik) [Rol. P. K., 1977]. Pada penelitian ini ukuran flange mengikuti standart DN 100 CF dengan diameter 15,2 cm dan tebal 1 cm. Flange ditempatkan pada tabung hampa yang berfungsi sebagai penutup ruang hampa dan sekaligus sebagai dudukan feedthrough.



Gambar ( 3.9 ) Flange

### I. Feedthrough

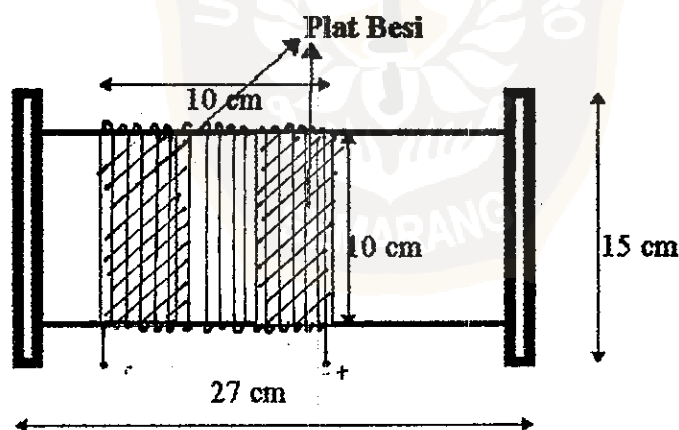
Feedthrough berfungsi sebagai terminal sumber daya. Kriteria feedthrough adalah mempunyai kemampuan operasi sampai ribuan volt, tahan terhadap suhu tinggi hingga 2996 °C. Bahan yang digunakan adalah busi. Feedthrough ditempatkan pada flange di salah satu tabung hampa.



Gambar ( 3.10 ) Feedthrough

### j. Magnet

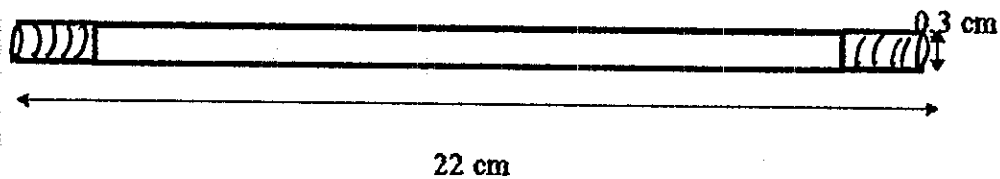
Pada sumber ion, magnet berfungsi untuk menambah kebolehtahanan ionisasi elektron karena gerakan elektron dari filamen yang menuju ke anoda berbentuk spiral sehingga lintasan elektron menjadi panjang dan kemungkinan terjadinya ionisasi akibat tumbukan elektron dengan atom bahan semakin banyak. Kriteria magnet adalah mampu menghasilkan medan magnet bagi sistem sumber ion dan ukurannya menyesuaikan panjang anoda. Pada penelitian ini magnet dibuat berbentuk selenoida dari dua plat besi sebagai kutub magnet, dengan panjang selenoida 10 cm, diameter tabung hampa 10 cm dan dililiti kawat berdiameter 0,1 cm sebanyak 170 lilitan, hambatan terukur 1,5 ohm lalu dialiri arus listrik searah sekitar 0,5 - 10 A. Maka menurut persamaan ( 2-21 ) besarnya kuat medan magnet yang dihasilkan adalah (11 - 214) gauss.



Gambar ( 3.11 ) Magnet selenoida dibuat dengan melilitkan kawat pada tabung hampa.

### k. Penyangga

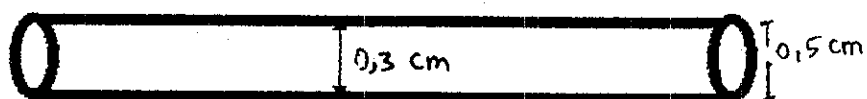
Penyangga berfungsi untuk menyangga elektroda-elektroda sumber ion. Kriteia penyangga adalah mempunyai kekuatan besar. Maka bahan yang digunakan adalah kawat dari baja tahan karat dengan diameter 0,3 cm dan panjang 22 cm. Penyangga diletakkan sepanjang elektroda-elektroda sumber ion.



Gambar ( 3.12 ) Penyangga sumber Ion

### l. Penyekat

Penyekat berfungsi sebagai isolator. Kriteria adalah bahan yang tahan terhadap suhu tinggi dan sebagai isolator yang baik. Di sini dipakai gelas ( pirek ) karena merupakan isolator yang baik dengan  $\rho = 10^{14}$  Ohm cm [RoI. P. K., 1977]. Ukuran penyekat berdiameter dalam 0,3 cm, diameter luar 0,5 cm dan ditempatkan diantara elektroda-elektroda sumber ion.



Gambar ( 3.13 ) Penyekat Sumber ion

### m. Ring O

Ring O berfungsi sebagai penyekat sistem hampa. Kriterianya adalah mempunyai daya pelepasan gas yang kecil, tahan terhadap suhu tinggi dan luas permukaannya dibatasi sekecil mungkin agar diperoleh pelepasan gas yang kecil. Bahan yang digunakan adalah karet viton yang mempunyai daya pelepasan gas kecil yaitu  $10^{-9}$  Torr liter perdetik dan tahan pemanasan sampai suhu  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$  [Rol. P. K., 1977]. Ukuran ring O untuk flange mengikuti standart DN 100 CF dengan diameter 12,1 cm, tebal 0,5 cm dan untuk busi mempunyai diameter 1,3 cm, tebal 0,3 cm. Ring O sebagai penyekat ditempatkan di antara flange dengan tabung hampa serta di antara busi dan flange.



(a) Ring O untuk Flange

(b) Ring O untuk Busi

Gambar (3.14) Ring O Pada Sumber Ion

### 3.2. Sistem Pendukung Sumber Ion

Ada dua sistem yang sangat mendukung berlangsungnya kerja sumber ion yaitu sistem hampa dan sumber daya arus searah.

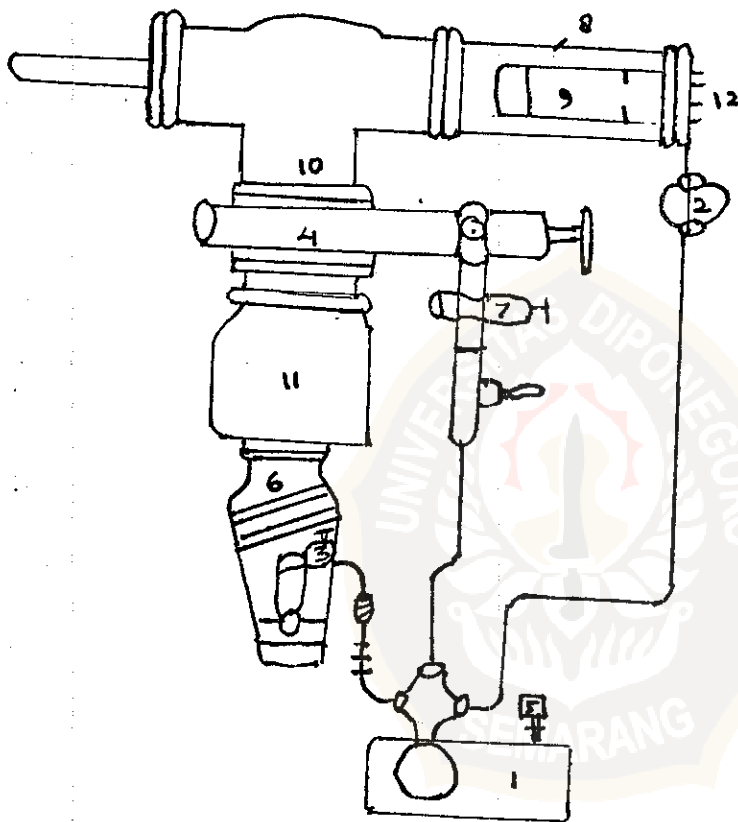
#### 3.2.1. Sistem Hampa

Sistem hampa termasuk sistem pendukung sumber ion, merupakan penyedia lingkungan hampa pada mesin implantor ion. Pada mesin implantor diperlukan kehampaan untuk menjamin jarak molekul-molekul gas dalam tabung besar sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan kecil. Penelitian ini memakai dua pompa yaitu sebagai pompa depan atau pra hampa dipakai pompa rotari jenis katub sorong. Pompa rotari ini mempunyai daerah kerja antara atmosfer -  $10^{-3}$  mmHg. Dan pompa yang kedua adalah pompa difusi yang berfungsi sebagai pompa utamanya. Pompa difusi ini mulai bekerja jika tingkat kehampaan minimum mencapai  $10^{-2}$  mmHg. Pengoperasian pompa difusi harus terlebih dahulu harus diawali dengan pengoperasian pompa rotari sampai tingkat kehampaan minimum untuk pompa difusi tercapai.

**Prinsip Pengoperasian Pompa Vakum diterangkan sebagai berikut :**

Lihat gambar ( 3.15 ), pompa rotari (1) dihidupkan dan katub 2 (2) yang merupakan penghubung antara pompa rotari dengan sistem hampa dibuka. Ditunggu hingga diperoleh kehampaan  $10^{-2}$  mmHg. Setelah tekanan mencapai  $10^{-2}$  mmHg katub 2 (2) ditutup dan katub 3 (3) yang merupakan penghubung antara pompa rotari dan pompa difusi dibuka. Ditunggu hingga ruang dihampakan  $10^{-2}$  mmHg. Selanjutnya pendingin untuk pompa difusi dihidupkan, dan pemanas dijalankan selama kurang lebih 30 menit. Setelah proses ini katub 4 (4) yang merupakan penghubung antara pompa difusi dan

sistem dibuka. Dengan demikian pompa difusi mulai bekerja terhadap sistem hampa sumber ion. Sistem dipompa sampai diperoleh kehampaan sekitar  $10^{-6}$  mm Hg.



Gambar ( 3.15 ) Bagan Sistem Hampa

(1) Pompa Rotari, (2) Valve by Pass ( rotari-sistem ), (3) Valve by Pass ( rotari - difusi ), (4) Valve Utama, (5) Head Pirani atau alat ukur Pirani ( atm -  $10^{-3}$  mmHg ), (6) Pompa Difusi, (7) Head Penning (  $10^{-2}$  -  $10^{-9}$  mmHg), (8) Sumber Ion, (9) Intermediate, (10) T Piece, (11) Cold Trap, (12) Feedthrough, (13) Pipa Elastis.

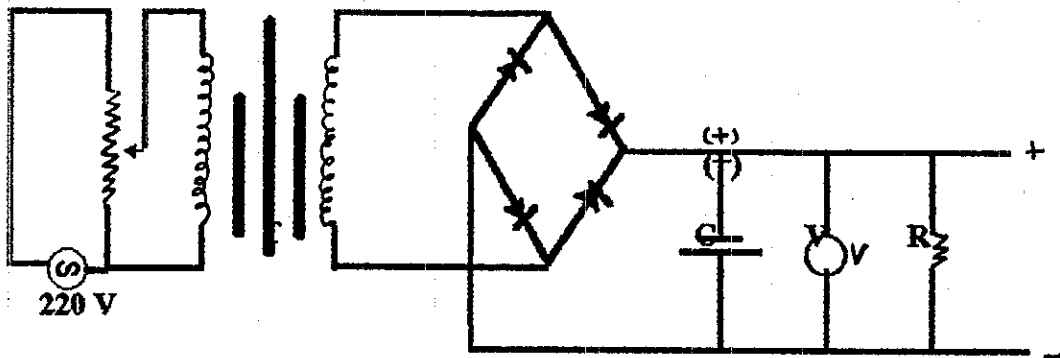


### 3.2.2. Sumber Daya Arus Searah

Sumber daya yang dipergunakan dalam sumber ion adalah sumber daya searah, yang memberikan arus pada filamen dan pemanas, daya pada masing-masing elektroda pendorong, anoda dan celah hingga ribuan volt.

Sumber daya mula-mula diperlukan untuk memberi arus pada filamen sebagai katoda dan pemanas untuk menguapkan serbuk cuplikan. Besarnya arus yang diperlukan 1 sampai 10 A. Untuk magnet diperlukan arus sekitar 0,5 - 10 Amper. Dalam sumber ion, untuk mengeluarkan berkas ion dari ruang ionisasi diperlukan suatu tegangan pendorong sebesar 1 sampai 1000 Volt. Anoda juga diberi sumber daya agar elektron yang diemisikan filamen mempunyai tenaga lebih besar sehingga terjadi arus dari katoda ke anoda. Besarnya tegangan positif anoda sebesar 1 sampai 700 Volt.

Celah diberi potensial negatif supaya berkas ion akan dipercepat keluar dari sumber ion menuju ke sasaran. Tegangan pemercepat ( celah ) yang diperlukan sebesar 1 sampai 2500 Volt.



Gambar ( 3.16 ) Rangkaian Tegangan Arus Searah

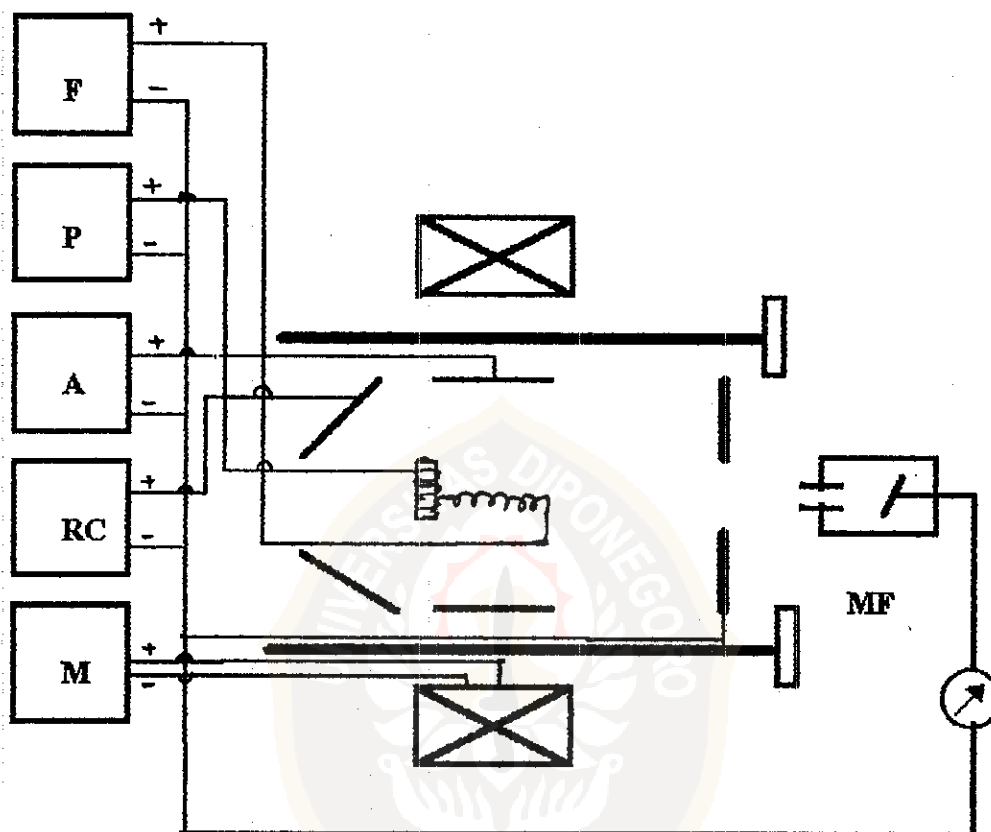
T = Trafo tegangan tinggi 0 - 6 kilo Volt, C = Kapasitor 9,5 nF / 10 kV, D = Dioda tegangan tinggi, R = Tahanan.

### 3.3. Pengujian Sumber Ion Tipe Katoda Panas Untuk Cuplikan Padat

Untuk mengetahui apakah sumber ion yang telah dibuat dapat dioperasikan, maka perlu pengujian sebelum sumber ion digunakan pada implantor ion. Pada pengujian tersebut sumber ion ditempatkan di dalam tabung yang mempunyai kehampaan sekitar  $10^{-5}$  mmHg. Pengujian dilakukan menggunakan cuplikan padat yang di tempatkan dalam tabung molybdenum dan selanjutnya dipanaskan di dalam ruang ionisasi. Arus ion yang dihasilkan diukur dengan cara menempatkan sasaran berupa mengkuik Faraday di belakang celah keluaran sumber ion yang terhubung dengan mikroampemeter. Pengujian yang dilakukan adalah : pengujian emisi elektron di anoda, pengujian maksimal masing-masing parameter sumber ion dan pengujian akhir arus ion yang dihasilkan dengan masing-masing parameter meliputi : arus filamen, tegangan

anoda, tegangan pendorong, tegangan pemfokus, tegangan celah dan kuat medan magnet.

Skema pengujian sumber ion pada gambar ( 3.17 ).



Gambar (3.16) Skema pengujian sumber ion yang dibuat.

F = Filamen, P = Pemanas, A = Anoda, RC = Pendorong-Celah, M = Magnet, MF = Mangkuk Faraday.

### 3.3.1. Pengujian Emisi Elektron di Anoda

Pengujian emisi elektron di anoda dilakukan dengan pemberian arus pada filamen dan pemberian tegangan pada anoda sedangkan elektroda yang lain belum difungsikan, lalu mencatat besarnya arus keluaran yang sampai di sasaran. Pengujian ini

dilakukan tanpa menggunakan cuplikan. Pengamatan keluaran arus elektron dengan memvariasi arus filamen dan memvariasi tegangan anoda.

### **3.3.2. Pengujian awal masing-masing parameter**

#### **3.3.2.1. Pengujian arus ion maksimal sebagai fungsi arus pemanas**

Pengujian dilakukan dengan pemberian arus pada filamen dan pemanas serta memberi tegangan pada anoda yang berfungsi sebagai penarik elektron, sedang tegangan pendorong-celah belum difungsikan. Arus pemanas divariasi sampai diperoleh arus ion keluaran yang maksimal. Harga ini dipakai untuk pengujian maksimal parameter-parameter sumber ion dan untuk pengujian akhir.

#### **3.3.2.2. Pengujian arus ion maksimal sebagai fungsi arus filamen**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian arus pada filamen, pemanas dan tegangan tertentu pada anoda, sementara tegangan pendorong-celah serta magnet belum difungsikan. Arus filamen divariasi sampai arus ion keluaran yang terukur mencapai harga maksimal, harga arus filamen dicatat dan selanjutnya dipakai untuk mencari maksimum tegangan elektroda yang lain dan pengujian akhir.

#### **3.3.2.3. Pengujian arus ion maksimal sebagai fungsi tegangan anoda**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian arus pada filamen, pemanas dan tegangan pada anoda divariasi sampai diperoleh harga arus ion yang maksimal dan

dicatat untuk pengujian maksimal parameter operasi lain pengujian akhir. Tegangan pendorong-celah dan magnet belum difungsikan.

#### **3.3.2.4. Pengujian arus ion maksimal sebagai fungsi tegangan pendorong-celah**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian arus pada filamen, pemanas dan tegangan maksimum pada anoda, tegangan pendorong-celah divariasasi sampai diperoleh harga arus ion keluaran yang maksimal. Harga tegangan pendorong-celah ini dicatat untuk mencari parameter lain dan pengujian akhir. Sementara magnet belum difungsikan.

#### **3.3.2.5. Pengujian arus ion maksimal sebagai fungsi kuat medan magnet**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian arus pada filamen, pemanas dan tegangan maksimum pada anoda, pendorong-celah, sementara kuat medan magnet divariasasi sampai diperoleh arus ion keluaran yang maksimum dan besarnya kuat medan magnet ini untuk pengujian akhir.

### **3.3.3. Pengujian Akhir Parameter-Parameter Sumber Ion**

#### **3.3.3.1. Pengujian akhir arus pemanas**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian tegangan maksimum pada elektroda anoda, pendorong-celah, arus filamen dan magnet lalu arus pemanas divariasasi dan arus ion yang sampai pada sasaran dicatat pada tiap-tiap kedudukan. Pengujian dilakukan

dengan menggunakan sampel atau cuplikan yang ditempatkan didalam tabung molybdenum (Mo) dan di masukkan di dalam ruang hampa. Pada penelitian ini memakai bahan serbuk yaitu : Aluminium (Al), Tembaga (Cu), Besi (Fe) dan Nikel (Ni). Pemilihan cuplikan dalam penelitian ini berdasarkan pada titik lebur kelima cuplikan tersebut relatif rendah dibandingkan dengan titik didih tungsten (W) yaitu 2997 °C.

#### **3.3.3.2. Pengujian akhir arus filamen**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian tegangan maksimum pada elektroda anoda, pendorong-celah, arus pemanas dan magnet, lalu arus filamen divariasi dan arus ion keluaran yang sampai pada sasaran dicatat pada tiap-tiap kedudukan.

#### **3.3.3.3. Pengujian akhir tegangan anoda**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian arus pada filamen, pemanas, tegangan maksimum pada elektroda pendorong-celah dan magnet. Tegangan anoda divariasi dan dicatat besar arus ion keluaran yang ditunjukkan pada meter arus untuk tiap-tiap variasi.

#### **3.3.3.4. Pengujian akhir tegangan pendorong-celah**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian arus pada filamen, pemanas, tegangan maksimum pada elektroda anoda dan magnet. Tegangan pendorong-celah divariasi dan dicatat besarnya arus ion keluaran untuk tiap-tiap variasi tegangan pendorong-celah.

### **3.3.3.5. Pengujian akhir kuat medan magnet**

Pengujian ini dilakukan dengan pemberian arus pada filamen, pemanas, tegangan maksimum pada elektroda anoda dan elektroda pendorong-celah. Kuat medan magnet divariasikan dan dicatat besarnya arus ion keluaran untuk tiap-tiap variasi.

